

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-194221

(43)Date of publication of application : 19.07.2001

(51)Int.CI.

G01H 3/00
G01M 17/007

(21)Application number : 2000-002278

(71)Applicant : SUZUKI MOTOR CORP

(22)Date of filing : 11.01.2000

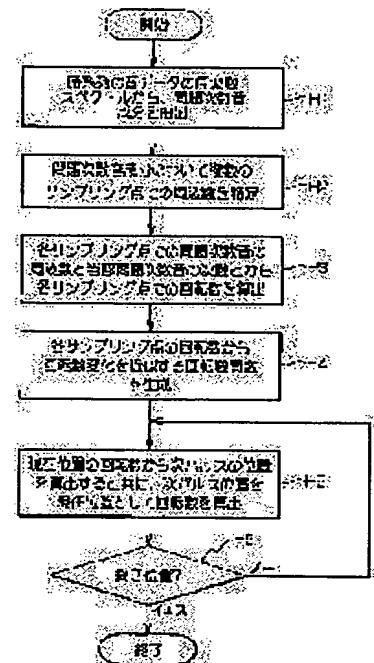
(72)Inventor : SUDA HIDEO

(54) SOUND EVALUATION PREPROCESSING METHOD, METHOD AND DEVICE FOR SOUND EVALUATION USING SAME, AND STORAGE MEDIUM STORED WITH SOUND EVALUATING PROGRAM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain the rotational frequency of an object to be evaluated even if timing pulses indicating the rotational frequency of the object can not be gathered.

SOLUTION: The method has a problem degree sound component extraction stage H1 for extracting components of intensity above specific intensity from a time series of sound data on a frequency spectrum composed of a time axis and a frequency axis, a frequency specification stage H2 for specifying frequencies of the extracted problem degree sound components at respective sampling points on the time axis, a rotational frequency calculation stage H3 for calculating rotational frequencies at the respective sampling points from the specified frequencies and a predetermined degree of a problem degree sound, and a rotational frequency function generation stage H4 for generating a function approximating temporal variation of the calculated rotational frequencies at the respective sampling points.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(51) Int.Cl.
G 01 H 3/00
G 01 M 17/007

識別記号

F I
G 01 H 3/00
G 01 M 17/00

テーマコード(参考)
A 2 G 06 4
Z

審査請求 未請求 請求項の数9 OL (全20頁)

(21)出願番号 特願2000-2278(P2000-2278)

(22)出願日 平成12年1月11日 (2000.1.11)

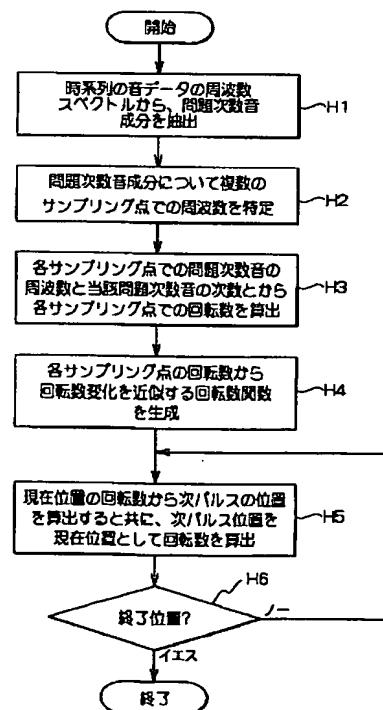
(71)出願人 000002082
スズキ株式会社
静岡県浜松市高塚町300番地
(72)発明者 須田 英雄
神奈川県横浜市都筑区桜並木2番1号 ス
ズキ株式会社技術研究所内
(74)代理人 100079164
弁理士 高橋 勇
Fターム(参考) 2G064 AA14 AB16 CC12 CC42 CC43
CC46

(54)【発明の名称】 音評価前処理方法及びこれを用いた音評価方法及び装置並びに音評価用プログラムを記憶した記憶媒体

(57)【要約】

【課題】 評価対象物の回転数を示すタイミングパルスを収集できない場合であっても、評価対象物の回転数を得ること。

【解決手段】 時系列の音データについて所定の強度以上の強度の成分を時間軸及び周波数軸からなる周波数スペクトル上にて抽出する問題次数音成分抽出工程H1と、この問題次数音成分抽出工程H1にて抽出した問題次数音成分について時間軸での複数の点をサンプリング点として各サンプリング点での周波数を特定する周波数特定工程H2と、この周波数特定工程H2にて特定された周波数と問題次数音の予め定められた次数とから各サンプリング点での回転数を算出する回転数算出工程H3と、この回転数算出工程H3にて算出された各サンプリング点での回転数の時間変化を近似する関数を生成する回転数関数生成工程H4とを備えた。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 時系列の音データについて所定の強度以上の強度の成分を時間軸及び周波数軸からなる周波数スペクトル上にて抽出する問題次数音成分抽出工程と、この問題次数音成分抽出工程にて抽出した問題次数音成分について時間軸での複数の点をサンプリング点として各サンプリング点での周波数を特定する周波数特定工程と、この周波数特定工程にて特定された周波数と前記問題次数音の予め定められた次数とから前記各サンプリング点での回転数を算出する回転数算出工程とを備えると共に、

この回転数算出工程にて算出された各サンプリング点での回転数の時間変化を近似する関数を回転数関数として生成する回転数関数生成工程とを備えたことを特徴とする音評価前処理方法。

【請求項2】 前記回転数関数生成工程に統いて、前記回転数関数による回転数から次のパルス位置までの経過時間を算出すると共に当該経過時間後の回転数を算出する次パルス位置算出工程と、この次パルス位置算出工程を終点位置まで繰り返させるパルスデータ生成制御工程とを備えたことを特徴とする請求項1記載の音評価前処理方法。

【請求項3】 前記回転数算出工程が、前記問題次数音成分の開始点と終了点の2点をサンプリング点として各点の回転数を算出する工程を備え、前記回転数関数生成工程が、前記開始点と終了点との計2点の回転数から当該回転数変化を近似する一次式の係数を算出する工程を備えたことを特徴とする請求項1又は2記載の音評価前処理方法。

【請求項4】 前記回転数算出工程が、前記問題次数音成分の開始点と終了点とを含む3点以上の各点をサンプリング点として各点の回転数を算出する工程を備え、前記回転数関数生成工程が、前記3点以上の各点の回転数に基づいて当該回転数変化を近似する多項式の各係数を算出する工程を備えたことを特徴とする請求項1又は2記載の音評価前処理方法。

【請求項5】 時系列の音データについて所定の強度以上の強度の成分を時間軸及び周波数軸からなる周波数スペクトル上にて抽出する問題次数音成分抽出工程と、この問題次数音成分抽出工程にて抽出した問題次数音成分について時間軸での複数の点をサンプリング点として各サンプリング点での周波数を特定する周波数特定工程と、この周波数特定工程にて特定された周波数と前記問題次数音の予め定められた次数とから前記各サンプリング点での回転数を算出する回転数算出工程と、この回転数算出工程にて算出された各サンプリング点での回転数の時間変化を近似する関数を生成する回転数関数生成工程とを備えると共に、

この回転数関数生成工程にて生成された回転数関数に基づいて各時間毎の回転数を算出すると共に当該各時間毎

の回転数と評価対象となる次数とから各時刻毎の次数フィルタ周波数を算出する次数フィルタ周波数算出工程と、この次数フィルタ周波数算出工程にて算出された各時刻毎の次数フィルタ周波数に基づいて当該評価対象となる次数の次数音を減衰させ又は抽出する次数音評価工程とを備えたことを特徴とする音評価方法。

【請求項6】 前記次数音評価工程に統いて、前記音データの時系列での音圧に対して前記次数音評価工程にて抽出される次数音の音圧が占める比率を算出する次数音比率算出工程を備えたことを特徴とする請求項5記載の音評価方法。

【請求項7】 前記次数音比率算出工程に統いて、前記次数音比率算出工程にて算出された時系列での次数音比率データについて各時刻での回転数を特定すると共に各回転数毎の次数音比率データを回転数の大きさ順に並べ替える回転数軸データ生成工程を備えたことを特徴とする請求項6記載の音評価方法。

【請求項8】 評価対象物の複数の音源から発せられる一定期間の音をデジタルの音データとして記憶した音データ記憶手段と、前記音データ記憶手段に格納された音データを信号処理して評価用データを生成する信号処理手段と、この信号処理手段によって生成される評価用データを外部出力する評価用データ出力手段とを備え、

前記信号処理手段が、時系列の音データについて所定の強度以上の強度の成分を時間軸及び周波数軸からなる周波数スペクトル上にて抽出する問題次数音成分抽出部と、この問題次数音成分抽出部によって抽出された問題次数音成分について時間軸での複数の点をサンプリング点として各サンプリング点での周波数を特定する周波数特定部と、この周波数特定部によって特定された周波数と前記問題次数音の予め定められた次数とから前記各サンプリング点での回転数を算出する回転数算出部と、この回転数算出部によって算出された各サンプリング点での回転数の時間変化を近似する関数を生成する回転数関数生成部とを備えると共に、

前記信号処理手段は、前記回転数関数生成部によって生成された回転数関数に基づいて各時間毎の回転数を算出すると共に当該各時間毎の回転数と評価対象となる次数とから各時刻毎の次数フィルタ周波数を算出する次数

40 フィルタ周波数算出部と、この次数フィルタ周波数算出部によって算出された各時刻毎の次数フィルタ周波数に基づいて当該評価対象となる次数の次数音を減衰させ又は抽出すると共に当該次数音を減衰させ又は抽出した次数フィルタ処理データを前記評価用データとして出力する次数音評価部とを備えたことを特徴とする音評価装置。

【請求項9】 評価対象物の複数の音源から発せられる一定期間の音をデジタルの音データとして記憶した音データ記憶手段と、前記音データ記憶手段に格納された音データを信号処理して評価用データを生成する信号処理手段と、この信号処理手段によって生成される評価用

ータを外部出力する評価用データ出力手段とを備えた音評価装置を使用して評価対象物から発せられる音の聴感を評価するための音評価用プログラムを記憶した記憶媒体であって、

該プログラムは前記信号処理手段を動作させる指令として、時系列の音データについて所定の強度以上の強度の成分を時間軸及び周波数軸からなる周波数スペクトル上にて抽出させる問題次音成分抽出指令と、この問題次音成分抽出指令に応じて抽出される問題次音成分について時間軸での複数の点をサンプリング点として各サンプリング点での周波数を特定させる周波数特定指令と、この周波数特定指令に応じて特定される周波数と前記問題次音の予め定められた次数とから前記各サンプリング点での回転数を算出させる回転数算出指令と、この回転数算出指令によって算出される各サンプリング点での回転数の時間変化を近似する関数を生成させる回転数関数生成指令とを備えると共に、

前記プログラムは、前記回転数関数生成指令に応じて生成される回転数関数に基づいて各時間毎の回転数を算出すると共に当該各時間毎の回転数と評価対象となる次数とから各時刻毎の次数フィルタ周波数を算出させる次数フィルタ周波数算出指令と、この次数フィルタ周波数算出指令に応じて算出される各時刻毎の次数フィルタ周波数に基づいて当該評価対象となる次数の次音を減衰させ又は抽出させると共に当該次音を減衰させ又は抽出した次数フィルタ処理データを前記評価用データとして出力させる次音評価指令とを備えたことを特徴とする音評価用プログラムを記憶した記憶媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、音評価前処理方法に係り、特に、回転動作を伴う評価対象物から発生する音を評価するための前処理に関する。本発明はまた、音評価方法及び装置に係り、特に、評価対象物の回転動作に伴って発生する音を評価する音評価方法及び音評価装置に関する。

【0002】本発明は特に、二輪車や四輪車のメカ音（エンジン音や排気音等を含めたメカニカルノイズ）の評価に応用される。また、エンジンを有する移動体のメカ音以外にも、回転動作に依存した音が生じる物体であれば、応用可能であり、例えば、モータ駆動の構造物の評価にも適用できる。また、音に限らず、一定のタイミングでタイミング信号が出力されるメカの振動の解析にも良好に用いられる。製品分野としては、二輪、四輪、特機等、電動自動車など必要に応じて全車種の音質を評価できる。また、生産技術についても、工場や生産ラインの完成検査等の音質評価を行うことができる。

【0003】

【従来の技術】従来、二輪車や四輪車等のメカ音の評価は、開発・出荷検査を含め、聴覚で行われている。従つ

て、音評価に絶対的な尺度がなく、評価を不安定で不確実なものとしている。そして、聴覚で評価を行うには、被験者を数時間拘束し、限られた調査項目について調査を行うため、大量かつ多種類の音の評価を得ることが現実的に困難であった。また、一部はパーソナルコンピュータ（P C）を導入し、音の数値化を行っているが、人間の聴覚の特性に応じた音の評価点を得るのは難しい。

【0004】例えば、特開平8-122140号公報では、自動車変速器等のギヤノイズを絶対的に評価するために、FFTアナライザからの複数の音圧値に対する官能評価値を学習したニューラルネットワークを備えたギヤノイズ評価装置が開示されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来例では、回転動作に伴って生じる種々の音源からの音を個別に評価することができない、という不都合があった。すなわち、上記従来例では、問題次音の有無が判明したとしても、問題次音の音源を特定することができない。

【0006】また、従来例では、評価対象物の回転数の増加や減少があると、評価対象物から連続的に発せられる音に対して聴覚による評価と同様な評価を行うこと困難となる、という不都合があった。従来の時間軸での評価では、音データのうちどの期間を評価するかによって、音データに対する評価が変わってしまうことがあり、均一な評価を行うことが難しい、という不都合があった。

【0007】さらに、従来、データ測定現場でタイミングパルスデータが取れない場合など音だけのデータでは、周波数解析はできるが、次数解析ができない、という不都合があった。

【0008】

【発明の目的】本発明は、係る従来例の有する不都合を改善し、特に、評価対象物の回転数を示すタイミングパルスを収集できない場合であっても、評価対象物の回転数を得ることのできる音評価前処理方法を提供することを、その目的とする。本発明はまた、複数の音データに対して均一な評価を行うことのできる音評価装置を提供することを、その目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】そこで、本発明による音評価前処理方法では、時系列の音データについて所定の強度以上の強度の成分を時間軸及び周波数軸からなる周波数スペクトル上にて抽出する問題次音成分抽出工程と、この問題次音成分抽出工程にて抽出した問題次音成分について時間軸での複数の点をサンプリング点として各サンプリング点での周波数を特定する周波数特定工程と、この周波数特定工程にて特定された周波数と問題次音の予め定められた次数とから各サンプリング点での回転数を算出する回転数算出工程とを備えると共に

5
に、この回転数算出工程にて算出された各サンプリング点での回転数の時間変化を近似する関数を生成する回転数関数生成工程とを備えた、という構成を探っている。これにより前述した目的を達成しようとするものである。

【0010】問題次数音成分抽出工程では、予め次数が判明している問題次数音を周波数スペクトルから抽出する。この問題次数音成分抽出工程では、例えば、排気音成分は回転数の変化にかかわらずほぼ一定の周波数成分となるが、次数音は回転数に依存して周波数が変化するため、回転数が変化している時間内であって時間軸と周波数軸とを有する周波数スペクトルでは、次数音成分は回転数の変化に伴って傾きを有する略直線として現れる。この傾きを有する略直線を抽出することで、問題次数音成分を特定することができる。周波数特定工程では、こも問題次数音成分の開始位置と終了位置等の複数のサンプリング点について周波数を特定する。そして、回転数算出工程は、各サンプリング点での周波数と予め判明している問題次数音の次数とから、そのサンプリング点での回転数を算出する。具体的には、次式にて回転数を算出できる。 $回転数 = (周波数 / 次数) \times 60$ この回転数は、各サンプリング点について算出する。続いて、回転数関数生成工程は、各サンプリング点での回転数の全体での時間変化を近似する関数を生成する。開始点と終了点の2点をサンプリング点とする場合には、1次式で近似できるため、回転数関数生成工程は、一次式の係数を算出する。また、3点以上のサンプリング点での周波数を計測した場合には、二次式での回転数関数を生成することができる。これら回転数関数が生成されると、時系列の音データの任意の時の回転数は近似的に特定される。

【0011】また、本発明による音評価方法は、時系列の音データについて所定の強度以上の強度の成分を時間軸及び周波数軸からなる周波数スペクトル上にて抽出する問題次数音成分抽出工程と、この問題次数音成分抽出工程にて抽出した問題次数音成分について時間軸での複数の点をサンプリング点として各サンプリング点での周波数を特定する周波数特定工程と、この周波数特定工程にて特定された周波数と問題次数音の予め定められた次数とから各サンプリング点での回転数を算出する回転数算出工程と、この回転数算出工程にて算出された各サンプリング点での回転数の時間変化を近似する関数を生成する回転数関数生成工程とを備えている。しかも、この回転数関数生成工程にて生成された回転数関数に基づいて各時間毎の回転数を算出すると共に当該各時間毎の回転数と評価対象となる次数とから各時刻毎の次数フィルタ周波数を算出する次数フィルタ周波数算出工程と、この次数フィルタ周波数算出工程にて算出された各時刻毎の次数フィルタ周波数に基づいて当該評価対象となる次数の次数音を減衰させ又は抽出する次数音評価工程とを

備えた、という構成を探っている。これによって前述した目的を達成しようとするものである。

【0012】ここでは、回転数関数生成工程にて回転数関数が生成された後、次数フィルタ周波数算出工程にて、時系列の音データの各時刻毎に変化する回転数に従って各回転数での次数フィルタ周波数を算出する。この次数フィルタ周波数は、望ましくは、次数中心周波数と、この次数中心周波数を中心とした次数抽出周波数幅とによって定義される。そして、次数音評価工程では、この次数フィルタ周波数を用いて音データから特定次数の音を減衰させ、または、音データから特定次数成分のみを抽出する。

【0013】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。図1は本発明による音評価方法の実施形態を示すフローチャートである。図1に示すように、本実施形態による音評価前処理方法は、時系列の音データについて所定の強度以上の強度の成分を時間軸及び周波数軸からなる周波数スペクトル上にて抽出する問題次数音成分抽出工程H1と、この問題次数音成分抽出工程H1にて抽出した問題次数音成分について時間軸での複数の点をサンプリング点として各サンプリング点での周波数を特定する周波数特定工程H2と、この周波数特定工程H2にて特定された周波数と問題次数音の予め定められた次数とから各サンプリング点での回転数を算出する回転数算出工程H3と、この回転数算出工程H3にて算出された各サンプリング点での回転数の時間変化を近似する関数を生成する回転数関数生成工程H4とを備えている。回転数関数は、時系列の音データの各時刻

30
・経過時間を変数として回転数を出力する関数である。本実施形態では、回転数算出工程H3にて、問題次数音の次数と周波数とに基づいて回転数を算出するため、タイミングパルスを計測できなかった音データについて各時間毎の回転数を得ることができる。

【0014】本実施形態では、この回転数情報を利用して、評価対象物の音の評価を行う。音を評価する目的の一つは、人間が不快を感じる音が含まれているか否かの判定にある。このため、人間の聴覚の特性に応じた評価を行わなければならず、しかも、数値として表さなければならない。聴覚は複雑であるため、種々の音に対して唯一の手法で評価を行うことは難しい。このため、本実施形態では、音の特性に応じて複数の手法を使い分けて評価を行うことで、人間の聴覚と一致する評価結果を算出する。

【0015】まず、用語を定義する。

連続音： 時間的に連続的に発せられる音で、複数の周波数成分を含むことは少なく、主要な周波数成分は回転数が一定であれば、一定の周波数である。エンジンを例とすると、カムチェーンや、プライマリギヤや、バランスギヤなどから連続音（うなり音）が生じる。

タイミングパルスを生成できることにより、タイミングパルスの入力を前提とする音評価ソフトをそのまま使用することができる。

【0017】好ましい実施形態では、回転数算出工程H3が、問題次数音成分の開始点と終了点の2点をサンプリング点として各点の回転数を算出する工程を備え、回転数関数生成工程H4が、開始点と終了点の2点の回転数から当該回転数変化を近似する一次式の係数を算出する工程を備えるようにしても良い。すると、直線状に変化する回転数の変化を良好に近似することができる。

【0018】また、回転数算出工程H3が、問題次数音成分の開始点と終了点とを含む3点以上の各点をサンプリング点として各点の回転数を算出する工程を備え、回転数関数生成工程H4が、3点以上の各点の回転数に基づいて当該回転数変化を近似する多項式の各係数を算出する工程を備えるようにしても良い。すると、一次式の係数の精度が向上するほか、二次式、三次式を用いることで二次曲線的に変化する回転数の変化を良好に近似することができる。

【0019】図2は、図1に示す音評価前処理方法によって回転数関数を生成した後、音の評価を行う処理例を示すフローチャートである。図2に示すように、回転数関数生成工程H11に続いて、回転数関数生成工程H11にて生成された回転数関数に基づいて各時間毎の回転数を算出すると共に当該各時間毎の回転数と評価対象となる次数とから各時刻毎の次数フィルタ周波数を算出する次数フィルタ周波数算出工程H12と、この次数フィルタ周波数算出工程H12にて算出された各時刻毎の次数フィルタ周波数に基づいて当該評価対象となる次数の次数音を抽出する次数音評価工程H13とを備えている。図2に示す例では、回転数関数生成工程H11に続いて音の評価を行うこととしたが、図1に示すステップH5、H6の処理を行って擬似的なタイミングパルスを生成した後に次数音処理を行うようにしても良い。

【0020】また、図2に示す例では、次数音評価工程H13にて、次数フィルタ周波数を用いて次数音を抽出しているが、次数フィルタを用いて当該次数音成分を減衰させて、当該次数音が問題次数音であるのか否かを検査するための音データを生成するようにしても良い。

【0021】また、音データに対する聴覚類似の評価を数値で得る手法の一つとして、音データの時系列での音圧に対して次数音評価工程H13にて抽出される次数音の音圧が占める比率を算出する次数音比率算出工程H14を備えるようにしても良い。これにより、背景音との関係で当該次数音の影響を良好に表すことができる。

【0022】さらに、この次数音比率算出工程H14に続いて、次数音比率算出工程H14にて算出された時系列での次数音比率データについて各時刻での回転数を特定すると共に各回転数毎の次数音比率データを回転数の大きさ順に並べ替える回転数軸データ生成工程H15を

断続音： 特定の回転角度の時に孤立的に発せられる音で、多くの周波数成分を含むこともある。エンジンを例とすると、ミッションやクラッチや、ピストンや、動弁系や、ピストンなどから断続音（ガラ音）が生じる。

評価： 音データを信号処理することにより所定の比率などの数値を得ること。

前処理： 評価を行うために回転数関数を生成したり、または、擬似的なパルスデータを生成すること。

次数： 1回転に対する連続音の周期であり、1回転の期間で1周期である音は、1次数である。1回転でn周期の音は、n次数である。また、歯が37個ある歯車で、評価対象物1回転で1回転するのであれば、この歯車からは37次の音が生じる。

次数音： 連続音のうち、特定の次数成分のみを抽出した音をいう。

問題次数音： 予め次数が判明しており、且つ全体音の中での比率の高い次数の音をいう。

特定次数： 連続音の評価において、評価対象となる次数をいう。

次数フィルタ周波数、バンド幅： 次数音を抽出するための周波数幅をいい、次数中心周波数と次数抽出周波数幅とによって定義される。

特定次数の次数中心周波数： 回転数と次数とが定まるとき、特定次数の音の周波数が特定される。すなわち、次数中心周波数 [Hz] = (回転数 [rpm] / 60) × 次数

次数フィルタ抽出周波数幅（周波数幅）： 特定次数を抽出するためのバンド幅であり、次数中心周波数の前後の帯域を有する周波数幅である。

一次数幅（又は、Δ Hz）： 回転数に依存して定まる一次数の次数中心周波数の大きさをいう。例えば、1200回転であれば、20 [Hz] 幅である。

【0016】再度図1を参照すると、回転数関数からタイミングパルスを生成する手法として、本実施形態による音評価前処理方法は、回転数関数生成工程H4に続いて、回転数関数による回転数から次のパルス位置までの経過時間を算出すると共に当該経過時間後の回転数を算出する次パルス位置算出工程H5と、この次パルス位置算出工程H5を終点位置まで繰り返させるパルスデータ生成制御工程H6とを備えている。パルスデータ生成制御工程H6は、パルスデータの生成が終了位置に至ったか否かを判定し、終了位置に至らない場合には次パルス位置算出工程H6を繰り返させる工程である。次パルス位置算出工程H5では、例えば、現在位置の回転数から1回転後までの経過時間を算出することで次パルス位置を算出し、続いて、この次パルス位置を現在位置（時間）として回転数関数から回転数を求める。パルスデータ生成制御工程H6にてこの次パルス位置算出工程H5が繰り返されると、音データの開始位置から終了位置まで順次パルスデータが生成される。このように擬似的な

備えるようにしても良い。この回転数軸データ生成工程 H 1 5 を用いると、次数音の影響が回転数に依存して変化する場合であっても、その次数音の特徴を的確に表す評価データを得ることができる。

【0023】図3は、本発明の一実施形態による音評価装置の構成例を示すブロック図である。図3に示すように、本実施形態による音評価装置は、評価対象物の複数の音源から発せられる一定期間の音をデジタルの音データとして記憶した音データ記憶手段2と、音データ記憶手段2に格納された音データを信号処理して評価用データを生成する信号処理手段6と、この信号処理手段6によって生成される評価用データを外部出力する評価用データ出力手段22とを備えている。

【0024】信号処理手段6は、例えばパーソナルコンピュータ（P C）であり、パーソナルコンピュータは、プログラムを実行するC P Uと、このC P Uの主記憶となるR A Mと、プログラムを記憶するハードディスク等の補助記憶装置と、キーボードなどの入力デバイスを備え、C D—R O Mなどの記憶媒体9からデータやプログラムデータを読み出すディスクドライブ7を併設する。

【0025】この信号処理手段は、時系列の音データについて所定の強度以上の強度の成分を時間軸及び周波数軸からなる周波数スペクトル上にて抽出する問題次数音成分抽出部112と、この問題次数音成分抽出部112によって抽出された問題次数音成分について時間軸での複数の点をサンプリング点として各サンプリング点での周波数を特定する周波数特定部114と、この周波数特定部114によって特定された周波数と問題次数音の予め定められた次数とから各サンプリング点での回転数を算出する回転数算出部116と、この回転数算出部116によって算出された各サンプリング点での回転数の時間変化を近似する関数を生成する回転数関数生成部118とを備えている。

【0026】信号処理手段はさらに、回転数関数生成部118によって生成された回転数関数に基づいて各時間毎の回転数を算出すると共に当該各時間毎の回転数と評価対象となる次数とから各時刻毎の次数フィルタ周波数を算出する次数フィルタ周波数算出部120と、この次数フィルタ周波数算出部120によって算出された各時刻毎の次数フィルタ周波数に基づいて当該評価対象となる次数の次数音を減衰させ又は抽出すると共に当該次数音を減衰させ又は抽出した次数フィルタ処理データを評価用データとして出力する次数音評価部122とを備えている。このような構成を採ることにより、図1及び図2に示す各工程を実行し、音データの特性に応じた安定した評価を可能とする。

【0027】また、次数音評価部122に、次数音の全体音に対する音圧比率を算出する音圧比率算出部や、回転数毎の次数音比率を回転数の大きさ順に並べる回転数軸データ生成部を備えるようにしても良い。

【0028】この図3に示した構成は、パーソナルコンピュータ等の信号処理手段6で音評価用のプログラムを実行することで実現される。この音評価用プログラムデータは、C D—R O M等の記憶媒体9に格納されてパーソナルコンピュータ104まで搬送される。そして、音評価用プログラムは、パーソナルコンピュータ104の図示しないハードディスク等に格納される。

【0029】この音評価用プログラムは、信号処理手段6を動作させる指令として、時系列の音データについて所定の強度以上の強度の成分を時間軸及び周波数軸からなる周波数スペクトル上にて抽出させる問題次数音成分抽出指令と、この問題次数音成分抽出指令に応じて抽出される問題次数音成分について時間軸での複数の点をサンプリング点として各サンプリング点での周波数を特定させる周波数特定指令と、この周波数特定指令に応じて特定される周波数と問題次数音の予め定められた次数とから各サンプリング点での回転数を算出させる回転数算出指令と、この回転数算出指令によって算出される各サンプリング点での回転数の時間変化を近似する関数を生成させる回転数関数生成指令とを備えている。

【0030】プログラムはさらに、回転数関数生成指令に応じて生成される回転数関数に基づいて各時間毎の回転数を算出させると共に当該各時間毎の回転数と評価対象となる次数とから各時刻毎の次数フィルタ周波数を算出させる次数フィルタ周波数算出指令と、この次数フィルタ周波数算出指令に応じて算出される各時刻毎の次数フィルタ周波数に基づいて当該評価対象となる次数の次数音を減衰させ又は抽出させると共に当該次数音を減衰させ又は抽出した次数フィルタ処理データを評価用データとして出力させる次数音評価指令とを備えている。これら各指令がパーソナルコンピュータ104にて実行されると共に、パーソナルコンピュータは図3に示す信号処理手段として動作する。

【0031】ここで、「動作させる指令」というときには、各指令のみで信号処理手段（パーソナルコンピュータ）を動作させる指令と、信号処理手段に予め格納されているオペレーティングシステム等の他のプログラムに依存して当該コンピュータを動作させる指令とのいずれかまたは双方を含む。

【0032】本実施形態による評価手法は、タイミングパルスと音に時間的、角度的な相関があるものであれば応用が可能であり、最終的な評価部分を変更することで色々な音の評価が可能となる。また、音に限らず、振動波形に対しても同様の効果が得られる。

【0033】上述したように本実施形態によると、既知の次数音に対して、音だけのデータへ擬似的にタイミングパルスデータを書き込むことができるため、従来数値化できなかった次数音に基づく各種の評価が可能となる。

【第1実施例】<連続音と断続音の評価>次に、本発明による音評価装置の実施例を図面を参照して説明する。本実施例による音評価装置は、図4に示すように、評価対象物1のタイミングパルスを取込むための回転計100と、音を取込むための騒音計(マイク)101と、それらとパーソナルコンピュータ(PC)104と、このPC104に増設されたA/D変換器105とを接続するインターフェースボックス102とを備えている。

【0035】パーソナルコンピュータ(PC)104は、信号処理手段6として、解析ソフトとタイミングフィルタソフトとこれらによって得られた数値から評価点数を算出する評価点算出ソフトとを備えている。解析ソフトは、例えば、音の解析で使用されるFFTや、周波数フィルタ等の機能を持つ。

【0036】本実施例での評価対象には連続音と断続音とがある。連続音とは、ギヤやチェーンなどのようにクランク1回転に対し、多くの噛あいなどで発生する音で、うなり音とも呼ばれている。これらの音は、タイミングパルスがあれば、次数フィルタ(回転数とギヤの歯数から周波数を求め、その周波数を中心とした所定幅分透過させるフィルタをかけるもの)で比較的容易に抽出することができる。この抽出された音を実際に評価するには、別途数値に変換する必要がある。

【0037】断続音は、1サイクルに1回もしくは2回程度で、ほぼ特定のタイミングで発生する音である。断続音としては、例えば、燃焼直後のクランクの回転変動に伴うギヤの歯打ち音や、クラッチの音などがある。これらの音は、限定された周波数で出るものもあるが、広い周波数帯域で発生するものもある。この様な音に対し、従来は、周波数フィルタを使用し、問題次数音のみを抽出し、音の大小で比較していたが、この方法では、抽出後の音が、原音とかけはなれた音となる上、その他のタイミングで発生する音も含まれてしまう。また、問題次数音の周波数が広い場合には、抽出自体が困難である。これを解決するための構成がタイミングフィルタであり、これにより得られた数値に基づいて評価点数を算出する。

【0038】図5は信号処理手段6の処理例の概略を示すフローチャートである。音データを取込むと(ステップS1)、問題次数音のタイプを確認する(ステップS2)。これは、予め図示しない入力手段からPC104に入力しておくようにしても良いし、音データの開始時に音データにて一方を選択する指示用のデータを格納するようにしてもよい。連続音の評価の場合には(ステップS3)、次数フィルタによる音の抽出を行う(ステップS4)。そして、全体音と抽出した問題次数音との相関を算出する(ステップS5)。例えば、音圧の比率を算出する。そして、この相間にに基づいて評価点数を算出する。このため、各次数毎に音の聴覚上の評価点数を得ることができる。

【0039】一方、断続音である場合には(ステップS7)、まず、タイミングフィルタにより問題次数音自体または問題次数音以外の音をマスクし、又は増幅する(ステップS8)。このようにタイミング別に音データを整形した後、問題次数音の音圧変動を算出する(ステップS9)。断続音の評価では、この音圧変動に基づいて、評価点数を算出する。

【0040】<連続音>連続音は次数フィルタを使用することで比較的容易に抽出が可能である。しかし、この抽出された音のみで評価点を算出することは困難である。これは、抽出された音がいくら大きても、その他のバックグラウンドノイズ(全体音又は背景音ともいいう)がそれよりも大きい場合は、問題にはならず、聴覚上の評価点数は良くなる。逆に、抽出された音が小さくても、その他の音が小さい場合は問題となり、評価点数は悪くなる。このバックグラウンドノイズとの関係で抽出した周波数の音の評価を行うことは、従来できなかつた。

【0041】このため、本実施例では、全体の音に対する問題次数音のしめる比率を求ることで、バックグラウンドの音を含めた相対的な問題次数音の数値化を行う。この手法の例を図6(A)乃至図6(C)に示す。図6に示す例は、エンジンニュートラル状態でアクセルをオンオフした場合のものであり、その前半部分でアクセルをオンし、回転が上昇し、全体音も大きくなっている。その後、アクセルをオフし、回転の下降とともに全体音も小さくなっている。

【0042】図7は連続音評価のフローチャートである。連続音の評価(ステップS11)では、まず、図6(A)に示すように特定次数60の音を特定のバンド幅(次数抽出周波数幅)58で切出す(ステップS12)。次に、図6(B)に示すように、切出した音の音圧64を求める(ステップS13)。さらに、全体の音の音圧63を求める(ステップS14)。さらに、図6(C)に示すように、全体の音圧63に対する問題次数音の音圧64の比率67を算出する(ステップS15)。すると、次数音比率が高まる図6(C)の符号62で示す部分は音の好ましくない状態を示す数値となり、一方、その他の部分は問題次数音以外の音で聴覚上マスクされてしまうことから評価点数を比較的良好である評価点とする(ステップS16)。

【0043】連続音の次数は、図6(A)に示すように、回転上昇と共に高い周波数となり、アクセルオフで回転が下降すると、周波数も低くなる。この様な次数の問題次数音を、あるバンド幅58で抽出し、その音圧を求める図6(B)の抽出音圧のようになる。このとき、同時に全体の音圧も図のように求めておく。この抽出された問題次数音の音圧64と全体音の音圧63との比率を取ると、図6(C)に示すように、問題次数音が大きく聞える場合には全体音に対する問題次数音の比率

6.7が大きくなる。この比率の大小を比較することで、バックグラウンドの音を含めた問題次数音の評価が可能となる。

【0044】図8 (A) および (B) は、8次と17次の問題次数音が小さいと評価されたものと、大きいと評価されたものとについて前述した処理により比率を求めたものである。聴覚上、問題次数音が最も良く聞える部分を円6.1で囲んだ。ここは、アクセルをオフし、回転の下降と共に全体音が小さくなるが、問題次数音が残り、アイドリング直前で大きく聞える部分である。図8に示すように、問題次数音が小さい評価のものは、全体音に対し8次音が10%、17次が20%程度、その他の音が70%程度となっている。一方、問題次数音が大きい評価のものは、8次のピークが60%、17次のピークが35%程度と非常に大きくなっている。この様にして得られた問題次数音の全体音に対する比率を評価点算出ソフトを使用して数値化することにより、人の聴覚上の評価点と同等の数値を得ることができる。このように本実施例では、特定周波数の音を抽出すると原音とかけ離れた音となってしまい、実際の音を再生させても評価が難しいのに対して、音圧の比率に着目してその問題次数音の影響を評価するため、音の評価を比較的単純な構成で精度の良い有用な評価用データを得ることができる。

【0045】

【第2実施例】<タイミングパルス>上述した各実施例では、タイミングパルスは評価対象物から得ることが前提であった。しかし、従来の音だけのデータや、データ測定現場で、パルスデータが取れない場合、音だけのデータで周波数解析はできるが、次数解析はできなかつた。これに対し、予め問題次数が判っている場合には、擬似的にタイミングパルスを時系列の音データに追加することができる。本実施例では、問題次数に基づいて、パルスデータを近似的に生成する。パルスデータを得ることで、特定次数別の評価が可能となる。また、次数音の抽出のみならず、音圧変化と回転数変化の関係を得るなど、エンジン等の構造物から生じる音の評価をより緻密に行うことができる。

【0046】まず、周波数スペクトルから、問題次数音の時間と周波数を求める。この周波数スペクトルは、図9 (A) に示すように、横軸を時間として、縦軸を周波数とする。3つ目の軸として強度を取る。この強度を色の相違で表すと、二次元で周波数スペクトルを表示することができる。図9 (B) に、強度の大きい部分を黒線で表示した簡略化した周波数スペクトルの一例を示す。図9 (B) に示すように、排気音133は、回転数によらずほぼ一定の周波数であり、かつ、強度も大きいため、周波数の低い部分にて横一直線上に現れる。また、評価対象物の共振周波数部分では共振により音が大きくなり、且つ、共振成分は一定の周波数で現れるため、や

はり、横一直線上に現れる。また、断続音のうち回転数に依存して大きくなる成分や、その他の音は、短い線やドットとして現れる。

【0047】一方、次数音は、回転数の変化に応じて周波数が変化する。図9 (B) に示す例では、回転数大の状態から回転数小の状態へと変化しているため、次数音成分の周波数は回転数が低くなるに従って、低くなる。このため、図9 (B) に示すように回転数の変化に追従して周波数が変化し、且つ、強度が連続していることで傾きを有する直線又は二次曲線的な状態で現れている成分を、次数音成分130と判定することができる。

【0048】このように、図9 (B) に示す周波数スペクトルから、オペレータの手動で、又は自動的に次数音成分130を特定することができる。次数音の強度は予め判明している訳ではないため、図9 (B) に示すように綺麗に次数音成分を浮き上がらせるには、強度と色の関係を調節する必要がある。連続する傾きを有する直線が検出されるか否かを条件として強度を順次変化させることで自動的に次数音成分を抽出することができる。もちろん、オペレータが手動で強度と色の関係を変化させつつ次数音成分を特定するようにしても良い。

【0049】このように、横軸を時間として縦軸を周波数とし、強度の強い部分を赤色に、弱い部分を黒色とすると、右下がり又は右上がりの赤線が周波数スペクトル上に現れる。時間経過と共に回転数が下がっている場合には、次数中心周波数も時間経過と共に低くなるため、右下がりの赤線が現れる。加速時の音データでは、赤線は右上がりに現れる。この赤線が生じている時間内が次数音の影響を評価すべき一定時間となるため、この赤線の両端の時間と周波数を読み取り、回転数の変化を一次式で近似する。2次式以上で近似する場合には、3カ所以上の点で時間及び周波数を読み取るようにするといい。

【0050】図10はタイミングパルス5の生成を一次式を用いて行う場合の説明図であり、図11はパルス生成のフローチャートである。

【0051】1. 図3に示す周波数特定部114は、始点と終点の時間、次数音の周波数を周波数スペクトルから読み取る(ステップB1)。

2. 回転数算出部118は、始点位置の周波数と既知の問題次数から回転数を求める。例えば、2476 [Hz] で37次であるから、 $2467 / 37 \times 60 = 4000$ [rpm]となる(ステップB2)。

3. 同様に、回転数算出部118は、終点での回転数を求める。終点の周波数が925 [Hz] とすると、 $925 / 37 \times 60 = 1500$ [rpm]となる(ステップB2)。

4. 回転数関数生成部118は、始点と終点の間の回転の下降を直線として一次式を算出する(ステップB3)。

$$RPM = 4000 - 1500 \times \Delta t$$

この式が、図11に示すフローチャートでの回転数関数である。

5. 続いて、タイミングパルスの生成を行う。具体的には、始点での回転数から、次のパルス位置を求め、パルスを書き込む（ステップB4）。例えば、

$$60 / 4000 = 0.015 [\text{sec}]$$

6. さらに、 Δt の値が定まったため、4.の式を用いてそのパルス位置での回転数を上式により求める（ステップB5）。

$$4000 - 1500 \times 0.015 = 3977.5 [\text{rpm}]$$

7. 求めた回転数から次のパルスの位置を求め、パルスを書き込む（ステップB6）。例えば、

$$60 / 3995.5 = 0.01508 [\text{sec}]$$

8. 上記6,7を繰り返し、終点位置まで行い、指定範囲内にパルスデータを書き込む（ステップB7, B8）。

【0052】このように、問題次数音の次数が既知の場合は、擬似的ではあるがパルスを作成することができ、このパルスから次数音比率の計算が可能となり、従来評価できなかった音だけのデータであっても、色々な処理が可能となり、その結果から各種評価が可能となる。

【0053】上記の例では、始点と終点のみの指定で、回転数の下降状態を直線で近似しているが、実際には二次曲線的に下降している場合が多い。その場合は、始点と終点以外に中間点のデータを入力し、回転数下降曲線を二次又は三次曲線で近似することで、より実際に近いパルスデータを作ることができる。また、多数の周波数を特定しておき、最小二乗法などに基づいて偏差の二乗の総和が最小となる式を回転数関数として求めるようにしても良い。このように音だけのデータにパルスを加えることで、周波数しか判らなかったデータで次数解析が可能となる。

【0054】

【第3実施例】<可変次数抽出周波数幅>次に、回転数情報を用いて次数音フィルタ周波数を算出する手法を示す。次数音フィルタ周波数は、その次数音の中心となる次数中心周波数と、この次数中心周波数前後の抽出用又は減衰用の周波数幅である次数フィルタ抽出周波数幅とから定義される。次数抽出フィルタ周波数幅は、固定としても良いが、第3実施例では、所定の基準に基づいてこの次数抽出周波数幅を可変とする構成と、その利点とを説明する。

【0055】100 [Hz] の次数フィルタ抽出周波数幅（次数抽出周波数幅、バンド幅）で次数音の抽出を行う場合、特定次数の次数中心周波数の上下50 [Hz] 幅で抽出する。これは、6000 [rpm] で丁度一次数幅に対応しており、それ以上の回転数では、一次数幅以下であるが、それ以下の回転数範囲では、一次数幅以上となる。

【0056】図12に示すように、一様に回転数が下降

(9)

特開2001-194221

16

する場合、特定次数の次数中心周波数30も同様に低くなる。ここで、隣接する次数の中心周波数を考えると、図12 (A) の破線のようになる。すなわち、隣接する次数の次数中心周波数との差は $\Delta Hz = RPM / 60$ であり、回転数と共に小さくなる。この ΔHz は、当該次数での一次数幅である。

【0057】ここで問題になるのが、エンジンの回転数が低い場合で、1800 [rpm] の場合、 $\Delta Hz = 30$ [Hz] であり、100 [Hz] 幅という固定の次数抽出周波数幅32で抽出すると、3次数幅以上で抽出することとなってしまい、1次数の次数音のみを抽出することができなくなる。

【0058】図13は、全体音63の音圧変化波形と、特定次数の次数音64の音圧変化波形と、全体音63に対して次数音が占める比率の時間軸での変化を示す次数音比率67の比率変化波形とを示す波形図である。図13 (A) は、次数抽出周波数幅を100 [Hz] 幅等に固定して抽出したものである。固定の次数抽出周波数幅32で次数音を抽出すると、図13 (A) にて符号44で示すように、低回点部分での計算誤差が大きくなる。すなわち、図13 (A) に示す例では、全体音63は回転数の下降に伴い順次音圧が小さくなる。そして、符号44で示す部分はアイドリング状態であり、全体音は略一定の音圧となっている。一方、固定抽出周波数幅32で抽出した次数音比率67の比率変化波形は、当該符号44で示すように大きくなっている。これは、聴覚上の評価よりも大きい比率となっている。

【0059】これを防止する方法として、抽出幅を固定ではなく、回転数により可変にすることが考えられる。

30 30 本実施例では、隣接する次数の中心周波数の大きさを、次数抽出周波数幅とする。すると、回転数が変化しても次数をまたいで抽出することが無くなり、計算誤差が小さくなる。図13 (B) に、この可変次数抽出周波数34で次数音64を抽出した場合の音圧変化波形とその次数音比率67の比率変化波形を示す。図13 (B) に示すように、可変次数抽出周波数34を用いると、符号46で示す領域のように、低回転部分での比率がより聴覚に近いものとなった。

【0060】図13 (B) の符号46で示される部分の

40 ように、可変次数抽出周波数34を用いると、低回転部分での次数音の音圧がより聴覚に近いものとなり、従って、次数音を精度良く抽出できたものと考えられる。一方、高回転部分で聴覚との差が生じた。すなわち、隣接次数中心周波数の大きさを次数フィルタ抽出周波数幅に設定し、次数音の抽出を行うと、高回転部分での音圧が聴覚による評価よりも強調される場合がある。これは、高回転に応じた次数中心周波数の周波数帯域に、連続音である次数音以外の成分も重なっていることも影響していると考えられる。また、エンジンの場合、高回転になるほど一般に音圧も大きくなるため、高回転部分の次数

音の音圧が強調されることも理由として考えられる。

【0061】図13 (A) に示す固定抽出周波数幅32による次数音の抽出結果と比較して、図13 (B) に示す例では、符号48で示す高回転部分にて、次数音の音圧は図13 (A) に示す例と比較して大きくなっている。

【0062】このような高回転部分での聴覚との不一致に対処するためには、経験的に、3000回転よりも高回転の場合には100 [Hz] での固定周波数幅で次数音の抽出を行うと良い。一方、1800回転以下では、隣接次数での中心周波数を抽出周波数幅とする可変抽出周波数幅を用いると良い。1800回転から3000回転までは、固定周波数幅での抽出による次数音と可変周波数幅での抽出による次数音との間に大きな差は認められなかつた。このため、固定次数抽出周波数幅32と可変次数抽出周波数幅34との切替は、エンジンの場合には、1800回転から3000回転の間の回転数をしきい値とすると良い。

【0063】図12 (B) に示すように、この次数抽出周波数幅を固定と可変とで切り替える場合には、しきい値38の前後で固定領域40と可変領域42とを定義して、次数抽出周波数幅を可変領域内でのみ変化させると良い。このように問題次数(評価対象となる特定次数)の抽出幅を可変とすることで、より聴覚に近い問題次数音の抽出が可能となり、従って、評価精度の向上が期待される。

【0064】評価対象とする音データの範囲を時間ではなく回転数の上下限幅で特定する例では、例えば、高回転部分であって、特定次数との関係で全ての次数中心周波数が図12 (B) に示す固定領域40に含まれるのであれば、次数抽出周波数幅を固定とし、一方、図12 (B) の符号42で示す可変領域に含まれる低回転部分を評価するのであれば、可変次数抽出周波数幅34を用いると良い。2つの領域40, 42に渡る範囲を評価するのであれば、所定のしきい値38に応じて固定か可変かを判断するようにしても良い。

【0065】図14は、本実施例による特微量算出処理の一例を示すフローチャートである。まず、回転数から抽出対象次数の次数中心周波数を算出する(ステップF11)。そして、算出対象タイミングの回転数が、しきい値38以上であるか否かを判定する(ステップF12)。しきい値以上の回転数であれば、次数抽出幅を固定次数抽出周波数幅32に設定する(ステップF13)。一方、低回転数であれば、可変次数抽出周波数幅32に設定する(ステップF14)。

【0066】続いて、FFT計算の基準幅単位で計算を実行し、設定された周波数幅で次数音を抽出する(ステップF15)。そして、図14に示す例では特に、FFT計算の基準幅とタイミングパルス間のデータ数との比率に基づいて、抽出した次数音の音圧と全体音の音圧を

補正する(ステップF16)。さらに、FFT計算の基準幅を微少時間分シフトさせる。このシフトさせる量は、一応の傾向を判断するためには大きめの値でシフトさせ、一方、詳細に評価すべき場合には、小さい値で評価するようにしても良い。さらに、全体音に対する比率を求める例では、算出結果である比率の値が有効桁数内で変化しなくなるまでシフト量を順次小さくするようにしてもよい。

【0067】FFT基準幅をシフトさせた結果、次のタイミングパルスに至ったか否かを判定する(ステップF18)。次のタイミングパルスであれば、各比率データ等の平均、最大値、最小値等を特徴値として出力する(ステップF19)。一方、次のタイミングパルスに至るまでは、次数音の抽出を繰り返す。

【0068】上述したように本実施例によると、回転数に依存して次数抽出周波数を変化させため、次数成分以外のノイズが少ない次数音を抽出することができ、これにより、次数音に対する評価をより人間による聴感評価と一致させることができる。また、次数抽出周波数幅を所定のしきい値を前後に固定と可変とに切り替えるため、高回転部分については次数音以外の成分を取り込むことなく、一方、低回転部分では隣接する次数音の成分を取り込むことがなくなり、次数音抽出精度がより向上する。

【0069】

【第4実施例】<積算比率>上述した実施例では、時系列に次数音の全体音に対する比率を算出し、これを特徴値としていた。次数音の影響が広い回転数幅に均一に及ぶ場合には、時系列に、すなわち回転数別に次数音比率を求めることで良好な特徴を得ることができる。一方、特定の回転数で共振成分があり次数音のピークがその部分だけ大きくなるような場合には、一定期間の積算値を求めてその積算比率を特徴量とすると良い。第4実施例では、図15及び図16を参照して積算比率が有効な局面を例示する。

【0070】図15 (A) に示す例では、比較的高い回転数で比率のピーク値が現れている。具体的には、符号51で示す位置にて、3900 [rpm] で18.0となっている。そして、符号50で示す領域では、やや高めの回転数で次数音比率67の高い部分が発生している。一方、図15 (B) に示す例では、それよりも低い回転数でピークが現れている。具体的には、符号51で示す位置にて、2800 [rpm] で16.2となっている。そして、次数音比率67は、図15 (A) に示す場合よりも低い回転数(符号54参照)で比率の高い部分が発生しており、アイドリング(符号52参照)まで高い比率が持続している。この二つの音を人間の聴感で評価すると、図15 (A) に示す原音よりも図15 (B) に示す原音の方が悪い評価となる。

【0071】図15 (A) に示す波形の原音は、高回転

で次数音比率6.7のピークが現れているため、全体の音が大きく、比率が大きくて次数音として強い印象を与えない上、持続時間が短く、回転下降と共に次数音の比率も小さくなっている。これに対し、図15(B)に示す例では、低い回転数でピークが出ていたため、全体音が小さく、次数音として強い印象を受ける上、アイドリングまで次数音が続いている。このような相違により、図15(A)に示す原音の方が図15(B)に示す波形の原音よりも悪い評価となると考えられる。

【0072】この不都合を改善すべく、本実施例では、次数音の音圧と全体音とをそれぞれ積算し、この積算結果の比率を用いて次数音の評価を行う。すなわち、次数音の発生回転数、持続時間、比率ピークの値を反映した数値を得るために、評価範囲内の全音圧、次数音圧の積算を行い、その結果の比率を算出した。こうすることにより、短時間に発生する比率の高い音よりも、比率は低めではあるが長時間発生する次数音の方が大きい比率となる。すると、聴覚評価の結果とより相関性の高い結果が得られる。上述した例では、図15(A)に示す積算比率は5.96であるのに対して、図15(B)に示す積算比率は6.18と、聴覚と一致する結果が得られた。

【0073】時間軸評価での積算の算出式は、次の通りである。

$$\text{積算次数音圧比率} = (\Sigma \text{次数音圧}) / (\Sigma \text{全音圧})$$

積算区間は、評価対象時間内である。

【0074】図16は、この積算比率を算出する処理を示すフローチャートである。まず、評価開始位置でのFFT計算を行い、問題次数音圧を求める(ステップA21)。次の位置でのFFT計算を行い、問題次数音圧を求める(ステップA22)。さらに、評価終了位置まで繰り返す(ステップA23)。計算結果から、評価範囲内の次数音圧の和と全体音圧の和の比率(積算次数音圧比率)を求める(ステップA24)。

【0075】上述したように本実施例によると、従来の次数音圧比率のピーク値のみの評価に加え、積算値を評価値としてすることで、より聴感に近い評価ができると共に、詳細な評価が可能となり、評価の制度の向上が期待される。

【0076】

【第5実施例】<回転数軸データ>上述した実施例では、音の評価範囲は時間軸をベースにしたものであり、評価者が手動でその位置を決定し、同等の位置の他のデータと比較していた。これをより簡素化し、評価精度を向上させるために、本実施例では、評価範囲を時間軸ではなく回転数軸に変換する。

【0077】時間軸を回転数軸に変換するために、各次数音比率が得られた時点の回転数情報を必要となる。本実施例では、擬似的なタイミングパルスを生成し、このタイミングパルスを用いて回転数を算出する基準位置及

びその回転数を算出する。また、回転数関数を用いて直接回転数を求めるようにしても良い。回転数別のタイミングのデータでその回転数のデータとするかが、次数音圧比率を計算する上で重要なポイントとなる。

【0078】図17に回転数とタイミングパルス及びFFT計算の基準幅の関係を示す。一般に回転数が高い場合、音圧も大きい。そして、回転数の低下は、一般に、一次直線又は二次曲線で表現される。図17に示す例では、二次曲線に近い形で回転数が減少している。回転数の減少に伴い、タイミングパルス8.8の間隔8.9も長くなっている。図17に示すように、次数音圧を計算するFFT計算の基準幅8.7は、どの位置でも同じである。

しかし、図17(A)に示す高回転部分と、図17(B)に示す低回転部分とでは、タイミングパルス間での回転数の変動(音圧の変動)が大きく、FFTの計算位置で計算結果が大きく異なってしい、すると、抽出した次数音の音圧が正確に算出されなくなってしまう。

【0079】また、回転数計算にタイミングデータ(回転パルス)を使用しているため、パルスと次のパルスの間にあるデータは、実際の回転速度にかかわらず、同じ回転数のデータとして扱われる。

【0080】そこで、本実施例では、FFT計算を微妙時間ずつずらして抽出区間を走査し、パルス間のデータの音圧及び次数比率を求め、その時の最大比率、最小比率、平均比率をそのパルス、すなわち、その回転数の特徴値(代表値)とする。従って、回転数軸のデータは、パルスの数だけ特徴値を持つ。次数比率の最大値、最小値を得ることで、パルス区間内での次数音圧の変動が判明する。また、その次数音が瞬間的な音(断続音等)なのか、持続的な音なのかが判断できる。また、平均比率は、評価範囲内の積算比率とほぼ同等の結果が得られる。

【0081】図18にその例を示す。図18中の次数音圧比率6.7は、上記の最大比率をプロットしたものである。また、次数音圧の積算音圧比率も求めている。図18(A)に示す全体音6.3の原音は、聴感上次数音が大きいと判断されたもので、2900[rpm]前後が最もうるさいとされた。一方、図18(B)に示す波形の原音は、次数音が小さいと判断されたものである。音圧比率のピーク値では、図18(A)の3700[rpm]附近と、図18(B)の2000[rpm]附近がほぼ同等であるが、積算比率を見ると、図18(A)に示す波形では10.04%であるのに対して、図18(B)に示す波形では6.55%と小さく、聴覚評価と同等の結果が得られた。これは積算比率の効果であり、図18(B)の符号90で示す2000[rpm]附近の共振周波数に次数中心周波数が合い、次数比率が瞬間に大きくなってしまって、積算することでこのピークを無視して、全体としてみた場合図18(A)の方が次数音が大きいという数値が得られることとなる。

50

【0082】このように、時間軸ではなく、回転数軸での次数音の数値化は、データを比較する場合評価者に評価部分を選択させるのではなく、事前に評価回転数幅を決めておけば済むことになり、評価の効率化と評価結果の精度の向上が見込まれる。すなわち、時間軸での評価では、積算の開始点及び終了点を評価者が定めなければならず、そして、この設定に依存して評価結果が変化してしまうことがあるのに対し、回転数軸の評価では、例えば1500 [rpm] から4000 [rpm] までという客観的な積算範囲が定まるため、複数の音データを比較する場合に均一な評価を行うことができる。このような評価対象回転数幅を予め設定する場合、評価対象回転数幅の上下限回転数に基づいて音データから当該回転数に応じた部分を切り出し、この範囲内で次数音抽出処理を行うと良い。

【0083】図19は、本実施例による音評価処理の一例を示すフローチャートである。図19に示すように、まず、点火パルス信号（タイミングパルス）の時間間隔から回転数を算出する（ステップE1）。続いて、評価回転数範囲からFFT計算の位置を算出する（ステップE2）。さらに、計算点火パルスの位置で、FFT計算の基準幅単位でFFT計算を実行し、次数比率を求める（ステップE3）。続いて、微少時間ズレた位置で、FFT計算を実行し、次数比率を求める（ステップE4）。

【0084】次のパルスに至ったか否かを判定し（ステップE5）、次のパルスに至るまで微少時間ずつ計算位置をずらす。次のパルスに至ると、微少時間毎に抽出した次数音について、1パルス区間内の最大比率、最小比率、平均比率を算出する（ステップE6）。これを評価範囲内の全パルスについて行う（ステップE7）。

【0085】続いて、横軸回転数、縦軸音圧比率で、各パルスの最大比率、最小比率、平均化率でグラフ化する（ステップE8）。評価範囲内で、積算全音圧と積算次数音圧とから、積算次数音圧比率を求める（ステップE9）。

【0086】上述した例では、高回転の時から低回転に至るまで回転数が単調減少する音データを対象としたが、減速時の複数の音データについて各回転数毎の次数音比率を平均すると、信号処理において移動平均処理等がノイズを低減させることと同様に、連続音（次数音）以外の成分によるノイズが減少する。また、減速時の各回転数での次数音比率と、加速時の各回転数での次数音比率を平均すると、共振成分がより強調される。

【0087】また、回転数関数に基づいて回転数軸データを生成する場合、原理的には微少区間毎の回転数を算出することができるため、次数音比率を算出する微少区間毎に回転数を対応させるデータを生成するようにしても良い。また、回転数に最小単位を設け、この最小回転数内の次数音比率の平均を算出すると、上述したタイミ

ングパルス前後の次数音比率を算出する例と同様の回転数軸データを得ることができる。

【0088】

【第6実施例】<回転数軸計算の次数音圧比率に対する補正>前述のFFT計算にて、図17に示すように、高回転数部分では、FFTの計算幅がパルス間隔よりも大きい場合がある。また、低回転部分では、パルス間隔に対してFFTの計算幅の占める割合が小さくなってしまう。しかし、時間軸から回転数軸に変換する際に、パルス単位で最大、最小、平均比率を求めるため、積算する場合に高回転部分では隣接するパルスデータとの重複が生じ、低回転部分ではデータの実際の音圧よりも不足が生じる。

【0089】このような不都合を防止するため、本実施例では、FFTの計算幅とパルスデータ間隔を比較して音圧の補正を行う。FFT計算で得られる音圧は、当然FFTの計算幅内のデータの音圧である。そこで、パルス間隔が計算幅よりも小さい場合は、計算結果の音圧を小さく、逆に、パルス間隔が計算幅よりも大きい場合は、計算結果の音圧も大きくなるように補正して、積算比率を求めるときより聴感にあった積算比率値が得られる。

【0090】図20は、図17(A)のデータを前述の方法で補正した結果で、高回転数になるに従い、次数比率が減少しているのがわかる。また、次数比率の最大の位置が図17(A)では3700 [rpm] だったのに対して、図20に示す例では、2600 [rpm] と聴感で最もうるさいとされる回転数に近づいている。この補正方法は、以下の式で示され、FFT計算を行う際にパルスデータを参考にして補正する。

$$\text{積算次数音圧比率} = (\sum (\text{次数音圧} \times \Delta t)) / (\sum (\text{全音圧} \times \Delta t))$$

ここで、 $\Delta t = (\text{パルス間隔データ数}) / (\text{FFT計算幅})$

積算区間： 評価対象回転数内

【0092】このような音圧の補正は、パルス単位での音圧を算出する場合、非常に有効で、より聴感に近い数値が得られ、評価の制度の向上が予想される。

【0093】上述したように本実施例によると、音の評価を時間軸から回転数軸へ変換し、比率の最大値、最小値、平均値を代表値とするため、データの比較を容易にし、評価者の負担を軽減させ、評価精度を向上させることができる。また、回転数軸への変換に対し、時間補正を行う例では、積算比率計算時により聴感に近い数値を得ることができる。

【0094】

【第7実施例】上述した各実施例による音評価の要素を組み合わせると、音データの性質に応じて聴感に近い評価を得ることができる。すなわち、特定次数の次数音を減衰させて当該次数音が問題次数音であるか否かを判定

する機能や、微少期間内の次数音の音圧について全体音に対する比率を次数音比率として求める機能や、一定期間内の次数音音圧の積算値の全体音の積算値に対する比率である積算比率を求める機能や、回転数毎に次数音比率を算出する機能などを併用することで、音データの特性に応じて聴感と同様な評価を行うことができる。

【0095】図21は、二輪車のレーシングデータを音データとして取り込んで連続音（うなり音）の評価を行う工程の一例を示すフローチャートである。まず、レーシングデータを取り込む（ステップH21）。これは、例えば、走行中の二輪車にマイクとDAT等のレコーダーとを設け、音の終了をした後に当該音データをコンピュータに取り込むようにする。そして、取り込んだ音データを周波数分析し、FFTスペクトルから問題次数音の次数をチェックする（ステップH22）。このとき、タイミングパルスが得られていない場合には、上述した第2実施例等に示した手法により回転数関数又はタイミングパルスを生成する。回転数と評価対象とする次数が特定されると、次数フィルタ周波数を算出する。

【0096】続いて、次数フィルタ周波数を用いて、評価対象となる特定次数の次数音（うなり音）を減衰させて（ステップH23）、音データを視聴する。次数音を減衰させて不快感がなくなれば、当該特定次数の次数音は問題次数音である。

【0097】続いて、次数音が発生している回転数を確認する（ステップH25）。続いて、評価パラメータを設定する。具体的には、評価対象とする回転数の範囲や、複数の次数音を評価する場合や次数軸データを生成する場合の計算次数の上限等に関する計算次数範囲や、計算する周波数幅や、回転数軸データを生成する際のパルス幅とFFT計算幅の関係による補正手法や、次数抽出周波数幅の設定など次数音を抽出する手法など、必要な項目を設定する（ステップH26）。

【0098】続いて、FFTを用いて次数を計算する（ステップH27）。そして、全体の音とうなり音の大きさの比率である次数音比率を微少時間毎に算出する（ステップH28）。各次数音比率が時系列又は回転数別に全般的に大きいか否か判定し（ステップH29）、全般的に大きければ、評価範囲内全体の積算比率を算出するなど評価範囲全体でうなり音を評価する。

【0099】一方、特定の回転数にて比率が特に大きく、又はある回転数を超えると比率が極端に小さくなるなど、レベル判断が必要な場合には（ステップH29）、回転数別にうなり音を数値化すると良い（ステップH31）。

【0100】この図21に示すフローチャートにて上述した各実施例の要素を組み合わせて連続音の評価を行ったが、図21に示す例に限らず、例えば100次程度までの次数音の積算比率を算出し、これを次数音軸にてグラフ化すると、問題次数と他の次数との関係が明確にな

るなど、次数フィルタの活用による連続音の評価は聴感に合致する音の評価を行う上で極めて有効である。

【0101】

【発明の効果】本発明は以上のように構成され機能するので、これによると、周波数特定工程が、問題次数音成分抽出工程にて抽出した問題次数音成分について時間軸での複数のサンプリング点での周波数を特定し、回転数関数生成工程が、この各サンプリング点の周波数に応じて回転数算出工程にて算出された各回転数の変化を近似する関数を生成するため、音データの任意の時の回転数をこの回転数関数に基づいて算出することができ、すると、評価対象となる対象次数の次数と回転数とから次数音の減衰や次数音の抽出などの処理が可能となる、という従来にない優れた音評価前処理方法を提供することができる。

【0102】また、本発明による音評価方法では、回転数関数生成工程にて回転数関数が生成された後、次数フィルタ周波数算出工程にて、時系列の音データの各時刻毎に変化する回転数に従って各回転数での次数フィルタ周波数を算出し、そして、次数音評価工程では、この次数フィルタ周波数を用いて音データから特定次数の音を減衰させ、または、音データから特定次数成分のみを抽出するため、特定次数の音を減衰させた場合には当該特定次数の音が問題次数音であるか否かの判定に良好に用いることができ、また、音データから特定次数成分のみを抽出すると、この特定次数音の全体音に対する音圧比率を算出したり、さらにこの次数音圧比率を回転数軸にて評価したりという処理が可能となり、すると、タイミングパルスデータが計測できない環境の音データであっても、予め判明している問題次数音の次数に基づいて次数音評価が可能となる、という従来にない優れた音評価方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態による音評価前処理方法の構成を示すフローチャートである。

【図2】図1に示す処理に続いて音を評価する音評価方法の構成例を示すフローチャートである。

【図3】本発明の一実施形態による音評価装置の構成例を示すブロック図である。

【図4】本発明の実施例のハードウェア資源の構成を示すブロック図である。

【図5】本発明の第1実施例の処理概要を示すフローチャートである。

【図6】図5に示す構成での連続音の評価の一例を示す波形図であり、図6（A）は特定周波数の音の抽出を示す図で、図6（B）は全音圧と抽出音圧とを比較した例を示す図で、図6（C）は各音圧の比率を示す図である。

【図7】図5に示す構成での連続音の評価処理の一例を示すフローチャートである。

【図8】各次数での音圧の比率を示す波形図であり、図8 (A) は次数フィルタ後の音が問題とならない例を示す図で、図8 (B) は8次の音が問題となる例を示す図である。

【図9】本発明の第2実施例による問題次数音成分の抽出例を説明するための説明図であり、図9 (A) は音データの周波数スペクトルの座標軸の定義を示す図で、図9 (B) は周波数スペクトルの一例を示す図である。

【図10】本発明の第2実施例により疑似タイミングパルスを生成するための処理内容を示す説明図である。

【図11】本発明の第2実施例による疑似タイミングパルス生成処理の一例を示すフローチャートである。

【図12】本発明の第3実施例の背景を示す説明図であり、図12 (A) は固定次数抽出周波数幅及び可変次数抽出周波数幅の例を示す図で、図12 (B) は回転数に応じて固定次数抽出周波数幅と可変次数抽出周波数幅とを切り替える例を示す図である。

【図13】一定期間の全体音の音圧変化と特定次数音の音圧変化とその比率との波形例を示す波形図であり、図13 (A) は固定次数抽出周波数幅で次数音を抽出した例を示す図で、図13 (B) は可変次数抽出周波数幅で次数音を抽出した例を示す図である。

【図14】固定次数抽出周波数幅と可変次数抽出周波数幅とを切り替えて次数音を評価する処理工程の一例を示すフローチャートである。

【図15】第4実施例の背景を説明するための波形図であり、図15 (A) は第1の音データの全体音、次数音及びその比率の波形を示す図で、図15 (B) は第2の音データの全体音、次数音及びその比率の波形を示す図

である。

【図16】第4実施例での処理工程の一例を示すフローチャートである。

【図17】本発明の第5実施例で前提となるタイミングパルスと回転数との関係を示す説明図であり、図17 (A) は高回転の場合の例を示す図で、図17 (B) は低回転の場合の例を示す図である。

【図18】回転軸データの一例を示す説明図であり、図18 (A) は「うるさい」とされた原音の回転数軸データの一例を示す図で、図18 (B) は「静か」と評価された回転数軸データの一例を示す説明図である。

【図19】第5実施例による音評価処理の一例を示すフローチャートである。

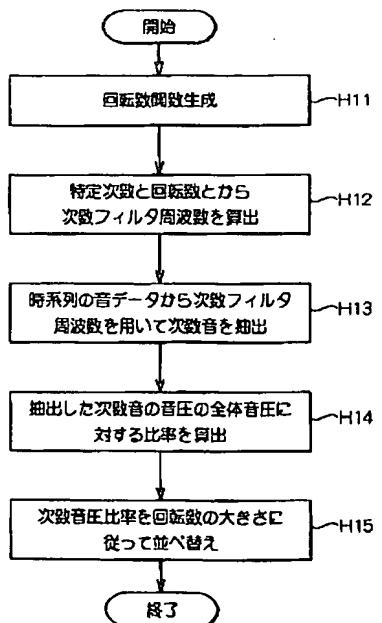
【図20】本発明の第6実施例による補正処理を行った場合の回転数軸データの一例を示す説明図である。

【図21】本発明の第7実施例による音評価処理の一例を示すフローチャートである。

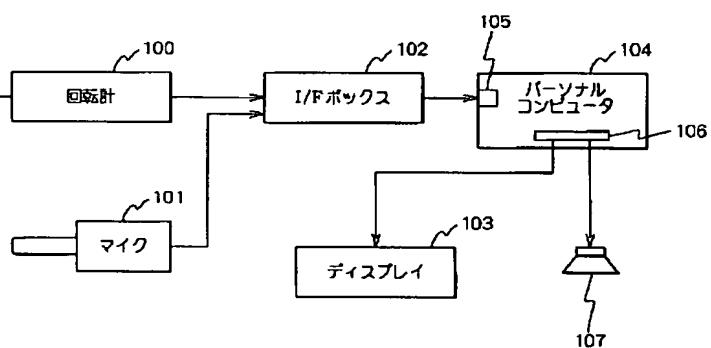
【符号の説明】

- 1 評価対象物 (評価対象車、音源、振動源)
- 2 音データ記憶手段 (例えばハードディスク)
- 6 信号処理手段
- 22 評価用データ出力手段
 - 110 周波数分析部
 - 112 問題次数音成分抽出部
 - 114 周波数特定部
 - 116 回転数算出部
 - 118 回転数閾値生成部
 - 120 次数フィルタ周波数算出部
 - 122 次数音評価部

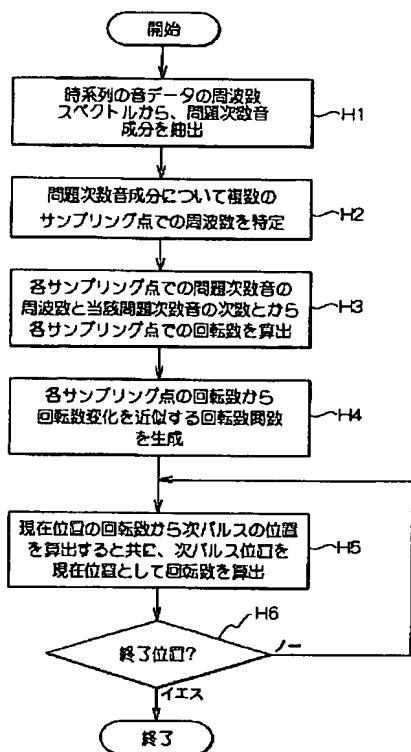
【図2】



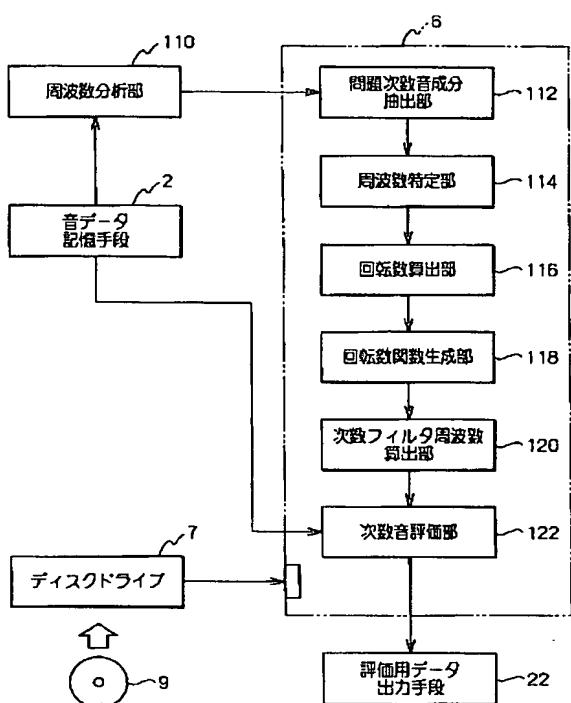
【図4】



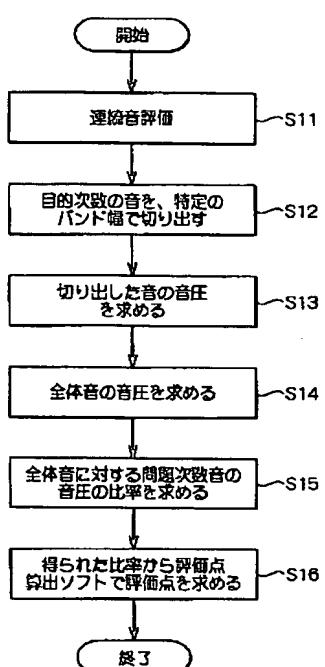
【図1】



【図3】

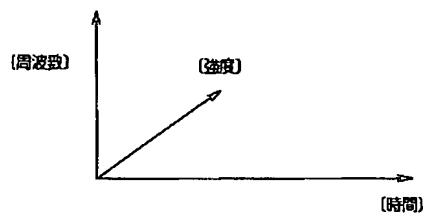
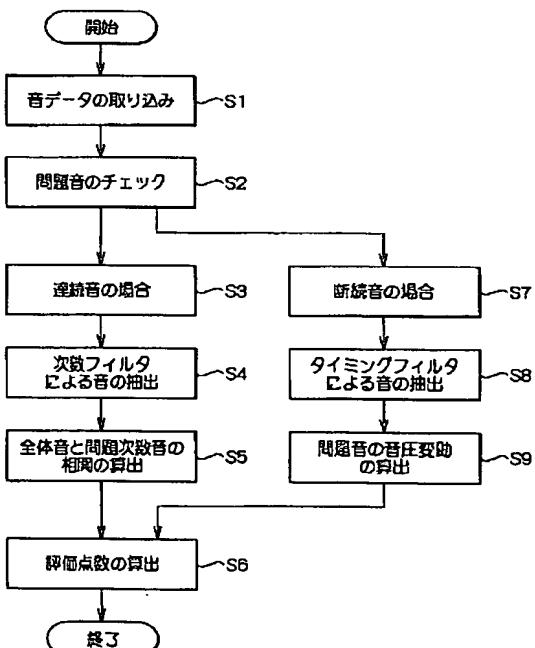


【図7】

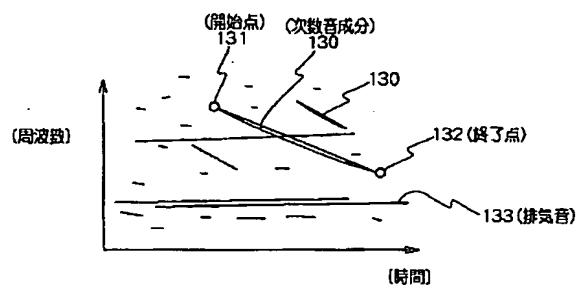


【図9】

【図5】

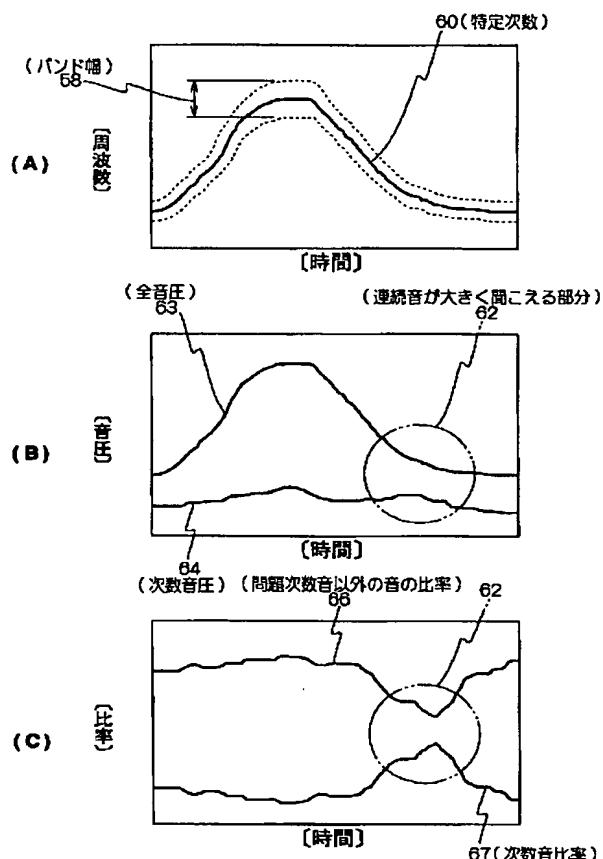


(B)

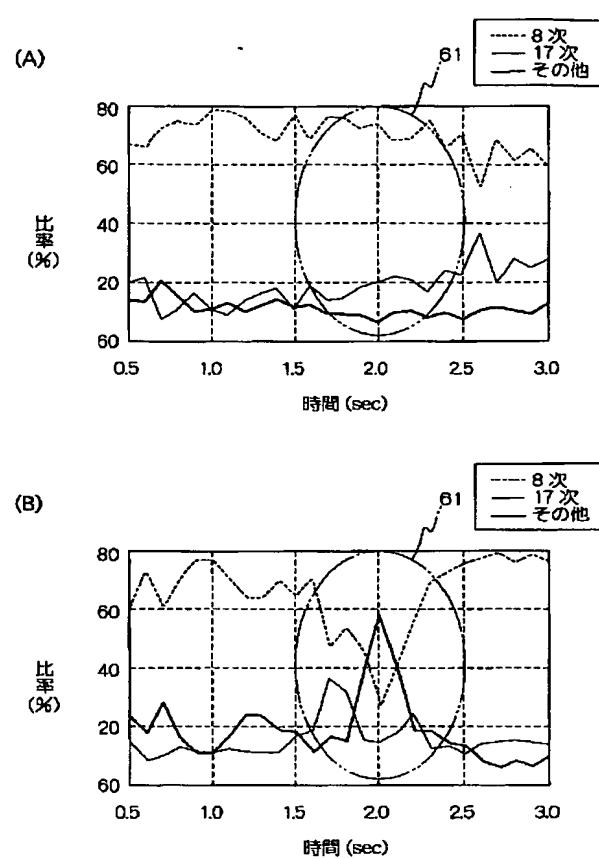


回転数大 ← → 回転数少

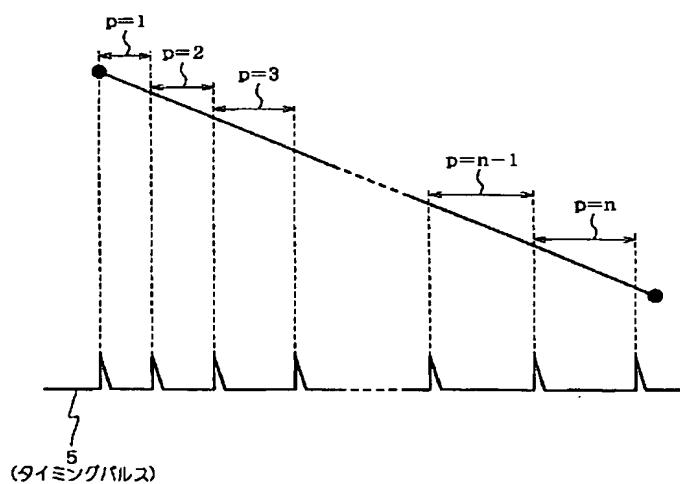
【図6】



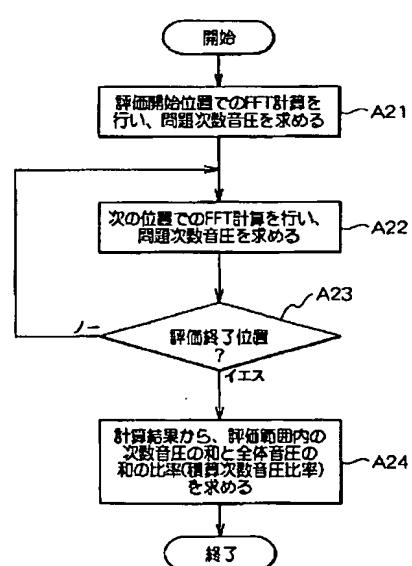
【図8】



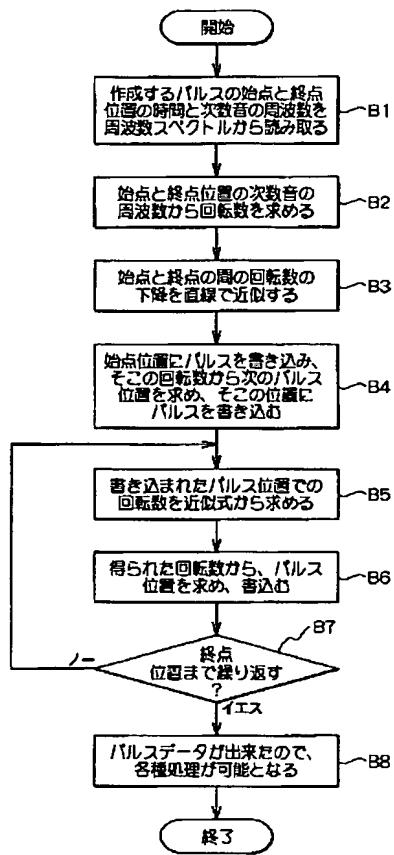
【図10】



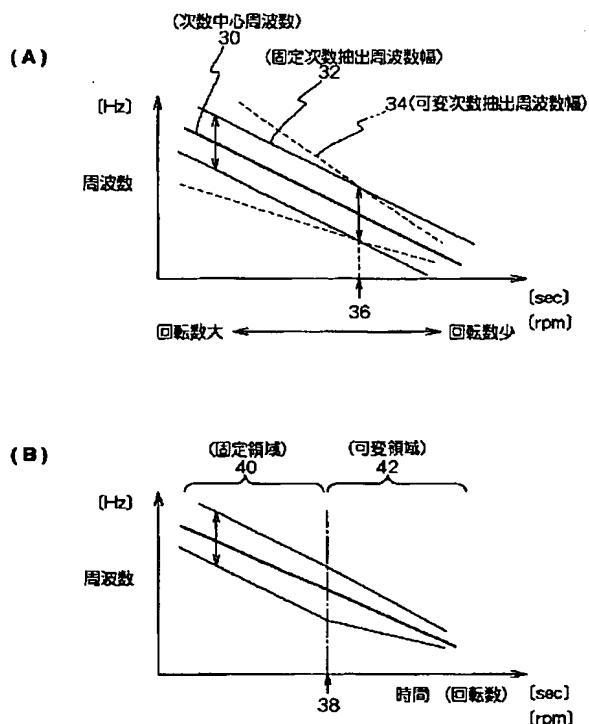
【図16】



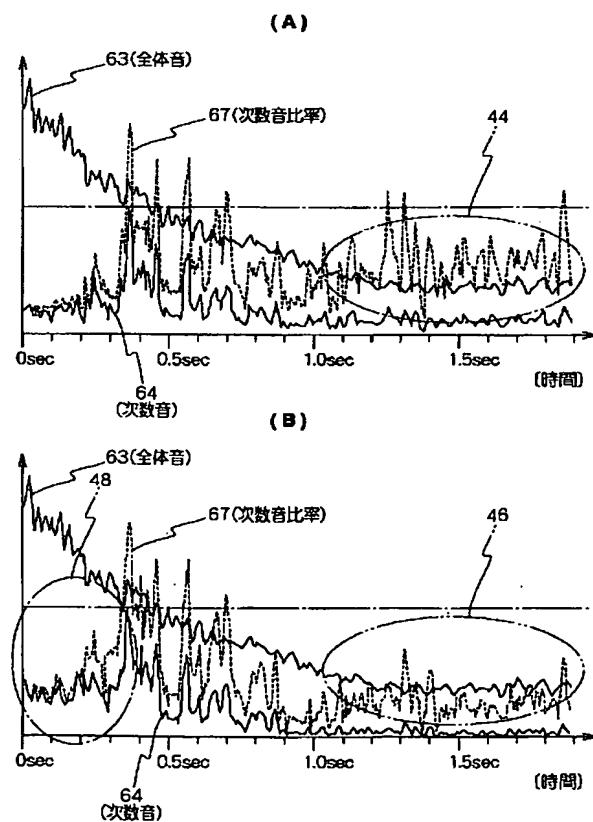
【図11】



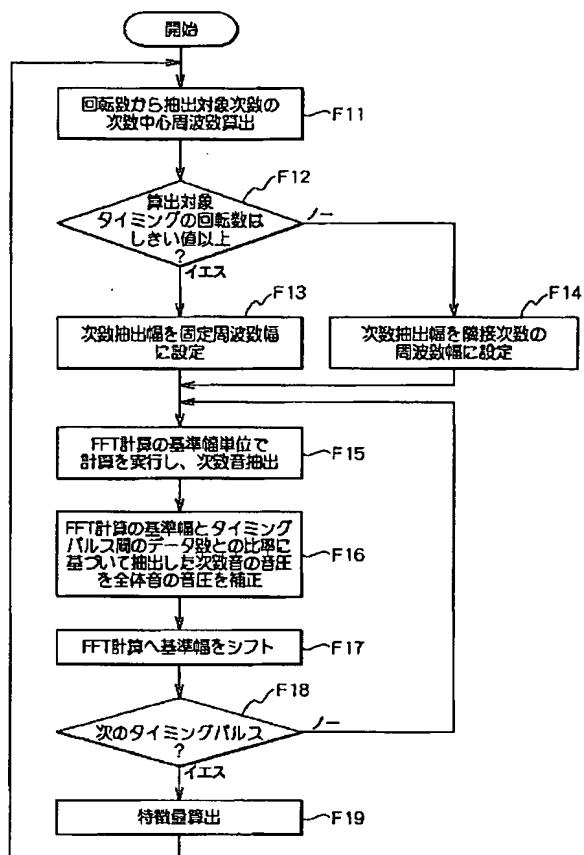
【図12】



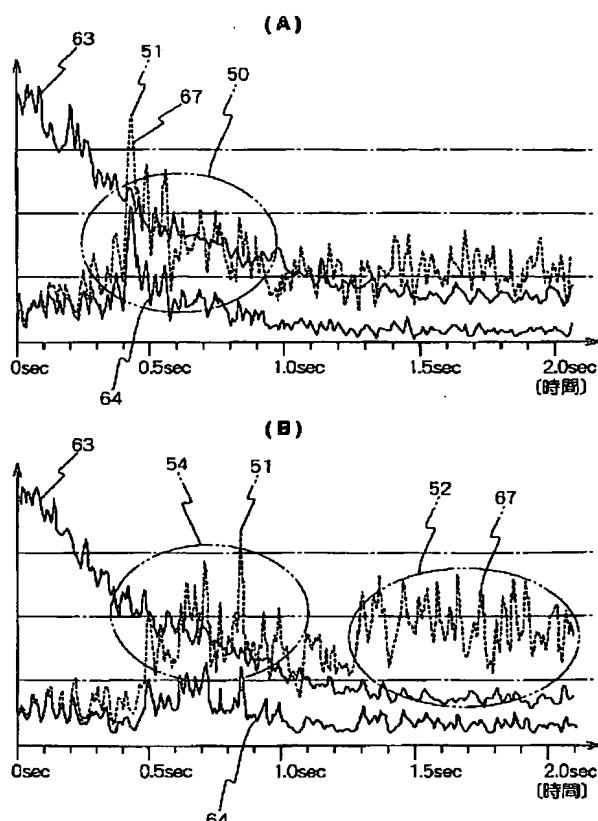
【図13】



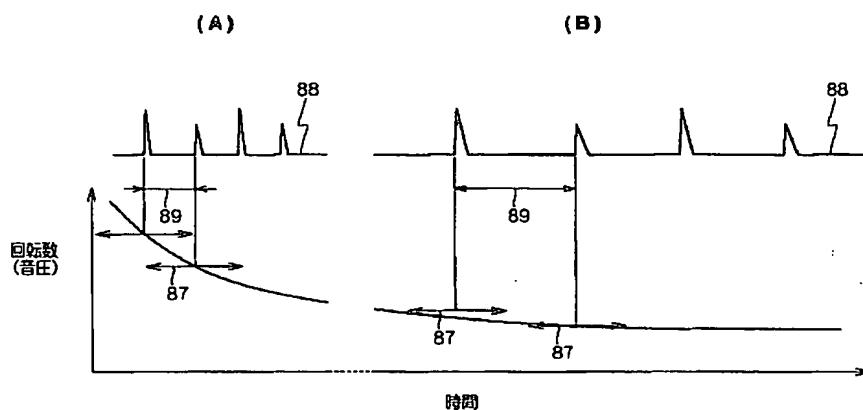
【図14】



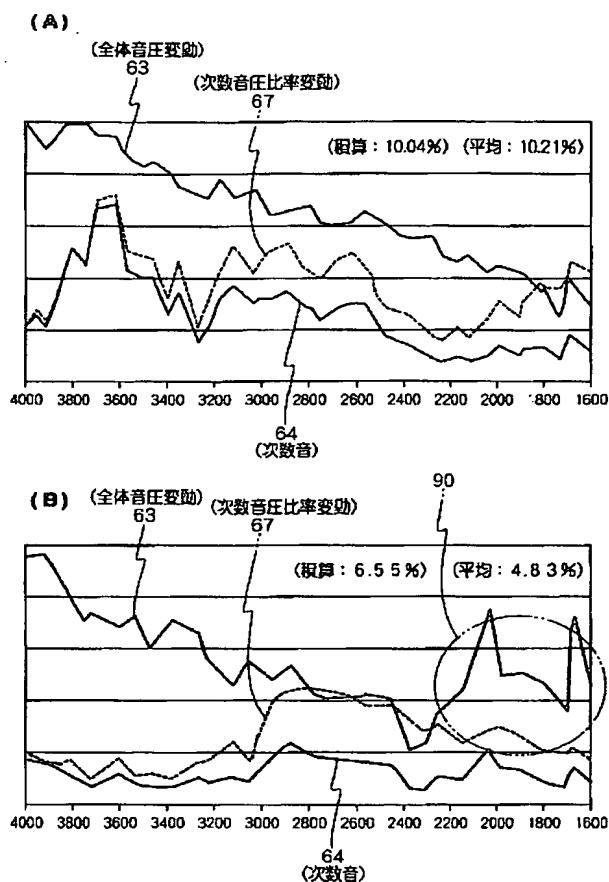
【図15】



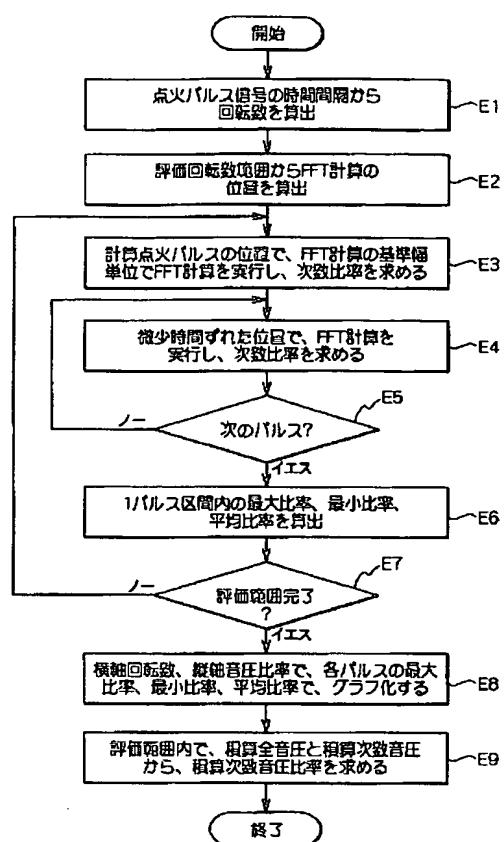
【図17】



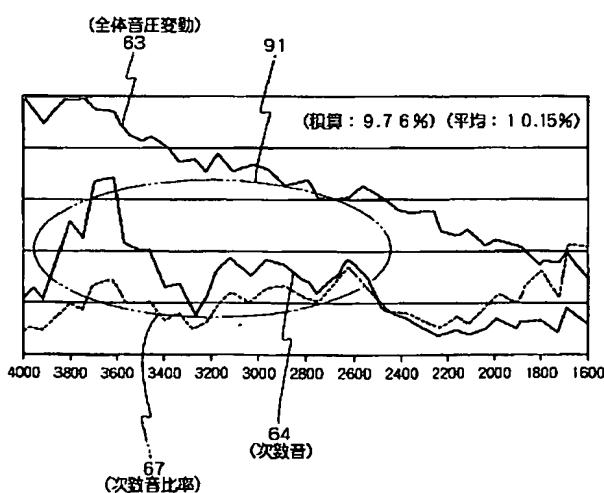
【図18】



【図19】



【図20】



【図21】

